

# Kajian Struktur Kubah Mesjid di Surabaya

Nur Ahmad Husin \*)

## ABSTRAK

Pada tanggal 24 April 2008 setelah mendapatkan informasi terkait dengan kondisi eksisting struktur mesjid di Surabaya yang mengalami retak pada bagian kolom utama yang mendukung kubah dengan kondisi scaffolding yang mendukung kubah belum dilepas. Kemudian dilakukan survey terhadap kondisi retak yang terjadi untuk mengetahui lebih jauh kondisi retak kolom utama tersebut dan penyebab terjadinya retak pada kolom utama pendukung kubah.

Setelah dilakukan survey dan mempelajari gambar disain dan dilakukan kajian terhadap kondisi eksisting disain diperoleh informasi mengenai kapasitas kolom utama pendukung kubah tidak mampu memikul beban yang terjadi. Hal itu dibuktikan dengan retaknya kolom utama manakala scaffolding mau dilepas.

Berdasarkan kondisi eksisting tersebut selanjutnya dilakukan upaya perkuatan kolom pendukung kubah untuk mengantisipasi gaya-gaya dalam yang mungkin akan terjadi. Perkuatan terhadap struktur kubah mesjid di Surabaya tersebut menggunakan baja WF untuk merubah perilaku struktur kubah dari elemen dengan dominasi lentur menjadi elemen dengan dominasi gaya aksial.

Kata kunci : Kajian

\* Dosen D 3 Teknik Sipil FTSP-ITS

## 1. Pendahuluan

Pada awalnya kondisi pembangunan mesjid di Surabaya tersebut berjalan sebagaimana yang direncanakan sampai pada tahapan pengecoran struktur kubah. Setelah pengecoran kubah mesjid tersebut umur betonnya memenuhi dilakukanlah tahapan pelepasan scaffolding. Pada saat pelepasan scaffolding tersebut permasalahan muncul yakni dengan timbulnya retak pada sisi luar elemen struktur kolom pendukung kubah dengan bentuk retak datar melingkar sesuai bentuk kolom yang berbentuk bulat dengan diameter kolom 80 cm. Hal tersebut menunjukkan adanya perilaku lentur akibat beban struktur kubah yang mana elemen kolom tidak mampu menerima beban lentur yang terjadi.

Berdasarkan kondisi eksisting tersebut selanjutnya dilakukan kajian terhadap penyebab terjadinya retak pada elemen kolom serta mencari solusi terhadap permasalahan tersebut dengan tetap mengedepankan kekuatan dan keamanan sebagai prioritas utama.

## 2. Survey lapangan

Berdasarkan kondisi eksisting Analisa Struktur dari masing-masing komponen dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kekuatan struktur pada saat ini. Untuk dapat mengevaluasi dan menyimpulkan kekuatan struktur dari gedung Bank Papua, maka perlu dilakukan analisa struktur sesuai perencanaan yang berupa perhitungan gaya-gaya dalam pada elemen-elemen struktur yang ditinjau. Hasil analisa struktur ini akan digunakan sebagai tolok ukur kekuatan struktur pada kondisi saat ini. Adapun mutu material berdasarkan

perencanaan awal adalah mutu beton ( $f_c'$ ) = K-225, sedangkan mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa.

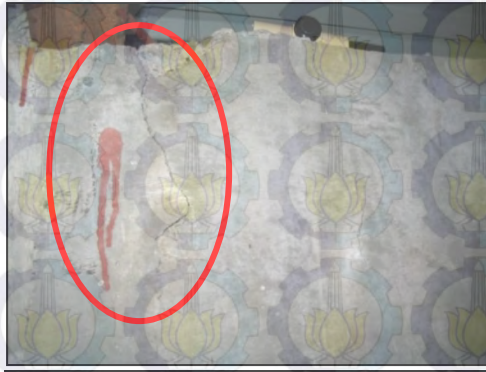


**Gambar 1 :** Tampak Depan Gedung Bank Papua cabang Manokwari



**Gambar 2 :** Kondisi Lantai 3 Gedung Bank Papua cabang Manokwari Pasca Gempa

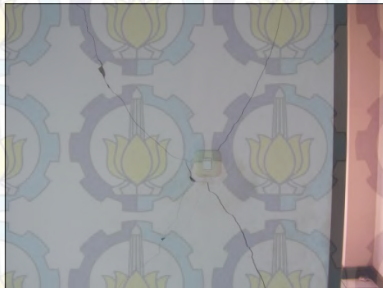




**Gambar 3 :** Kondisi kerusakan kuda-kuda beton Lantai 3 Gedung Bank Papua cabang Manokwari Pasca Gempa



**Gambar 4 :** Terkelupasnya pembungkus kolom Gedung Bank Papua cabang Manokwari Pasca Gempa



**Gambar 5.** Retak yang terjadi pada elemen dinding

## 2.2. Pengumpulan, analisa serta Evaluasi data primer lapangan dan laboratorium

Pengumpulan data primer di lapangan meliputi survey lapangan (pengamatan secara visual), pengambilan benda uji dan beberapa jenis pengujian lainnya seperti pengujian : ultrasonic, lebar dan kedalaman retak, hammer, rebar dan selimut beton yang dilakukan pada semua elemen struktur beton bertulang bangunan gedung Bank Papua Cabang Manokwari.

Pengambilan data di lapangan dilakukan secara *destructive test* dan *non destructive test*.

Pengambilan benda uji dilapangan secara *destructive test* seperti pengambilan sampel benda uji silinder dengan *core drill* dan pengambilan sampel tulangan. Sedangkan pengambilan data dilapangan secara *non destructive test* meliputi pengujian Hammer, Ultrasonic, Lebar dan Kedalaman Retak, Rebar dan selimut beton bertujuan untuk mencari data primer guna mendukung pelaksanaan pengujian dan evaluasi struktur gedung Bank Papua secara keseluruhan.



**Gambar 6.** Pengambilan Sample Core Drill Elemen Balok Gedung Bank Papua Cabang Manokwari

**Tabel 1. Rincian Sample Core Drill**

Lantai	Jumlah Sample (buah)
I	2
II	4
III	1
Atap	5
<b>Total</b>	<b>12</b>

Sebagaimana ditunjukkan pada tabel 1 sampel *core drill* yang diambil sebanyak 12 buah sedangkan sampel tulangan diambil sebanyak 6 buah.

Pengujian *non destructive test* seperti pengujian kekuatan dan keseragaman beton (*hammer test*) pada setiap elemen struktur bangunan Gedung Bank Papua Cabang Manokwari, jumlah **Pengujian Hammer ada 94 titik** dengan rincian : **18 titik pada lantai 1, 11 titik pada lantai 2, 30 titik pada lantai 3, dan 35 titik pada lantai atap dan balok kuda-kuda.** Pengujian keseragaman mutu dan kekuatan tekan beton ini dilaksanakan sesuai dengan ASTM C805-85. Penetapan besarnya kuat tekan beton dengan hasil Pengujian Hammer (Palu Beton) ini dapat dilakukan dengan mencari persamaan garis regresi linear hubungan antara kuat tekan benda uji silinder beton hasil dari *Core Drill* dengan nilai *Rebound Hammer*.





**Gambar 7.** Pengujian Hammer di Gedung Bank Papua Cabang Manokwari

Pengujian non destructive lainnya yaitu pengujian kepadatan beton dengan Ultrasonic test. Pengujian Ultrasonic dilakukan untuk mengetahui tingkat kepadatan beton dan kekuatan tekan beton setelah mengkorelasikan antara hasil pengujian ultrasonic dengan hasil kuat tekan benda uji silinder beton dari Core Drill. Pada pelaksanaan pengujian Ultrasonic ini dilakukan pengamatan 6 kali pada setiap titik, dengan cara pengamatan indirect atau direct pada elemen struktur Pelat, Balok dan Kolom pada bangunan gedung Bank Papua Cabang Manokwari. Dari pembacaan alat Ultrasonic diambil harga **kecepatan rambat rata-rata (v)**, harga inilah yang akan diterjemahkan ke dalam tegangan tekan dengan menggunakan persamaan regresi linear hasil korelasi hubungan antara tegangan tekan benda uji silinder beton dari Core Drill dan kecepatan rambat rata-rata (v) pada pengujian Ultrasonic. Pengujian ultrasonic dengan alat **Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)** tipe **“TICO v 1.21 – PROCEQ”**, dan pengujiannya dilakukan pada sekitar lokasi pengambilan benda uji silinder beton dengan Core Drill dan beberapa lokasi lainnya pada lantai 1 sampai dengan atap. Jumlah **Pengujian Ultrasonic** adalah **43 titik** dengan perincian: **18 titik** pada lantai 1, **14 titik** pada lantai 2, **7 titik** pada lantai 3 dan **4 titik** pada lantai atap dan kuda-kuda.



**Gambar 8.** Pengujian Ultrasonic Pada Gedung Bank Papua Cabang Manokwari

Pengujian non destructive berikutnya adalah pengukuran tebal selimut beton. Pengukuran yang merupakan pengamatan tebal selimut beton dan rebar pada struktur beton bertulang dilakukan pada permukaan semua elemen struktur bangunan Gedung Bank Papua Cabang Manokwari. Untuk pengukuran yang merupakan pengamatan tebal selimut beton dan rebar ini dipakai **alat  $\pi$  Rebar Plus**, yang dilakukan pada **36 lokasi** sebagaimana tampak pada gambar 9

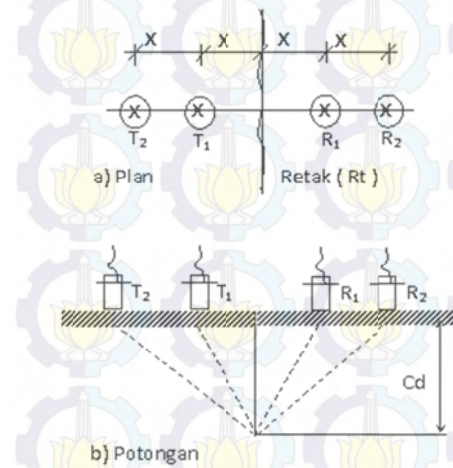


**Gambar 9.** Penentuan Tebal Selimut Beton dan Rebar pada Kolom Gedung Bank Papua Cabang Manokwari

Termasuk pengujian non destructive adalah pengukuran lebar retak dan kedalaman retak. Pengukuran kedalaman retak dilakukan pada **30 titik** dengan bantuan alat **Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)** tipe **“TICO v 1.21 – PROCEQ”** sedangkan pengukuran lebar retak dengan **Loupe** dilakukan pada **14 titik**, baik itu di elemen struktural pelat, balok dan kolom maupun pada elemen non struktural yaitu pasangan dinding batu-bata. Pengamatan kedalaman retak dilakukan dengan cara indirect pada arah tegak lurus arah retak dan pengamatan pada setiap titik dilakukan minimum dua kali



pembacaan dengan jarak Transducer – Retak – Receiver masing-masing berjarak sama ( x ) di mana untuk aplikasi x ditetapkan sebesar 10 cm atau 100 mm seperti yang terlihat pada Gambar 10.



Kedalaman retak  $Cd$  dapat dinyatakan dengan waktu yang diperlukan untuk Receiver (R) menerima Getaran yang dikirim oleh Transducer (T).

Pengamatan pertama menghasilkan  $t_1$  dan pengamatan kedua menghasilkan  $t_2$ , sehingga :

$$(1-2) : Cd = x \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}}$$

Bila ada 3 pengamatan, yaitu sampai  $t_3$

$$(1-3) : Cd = x \sqrt{\frac{9t_1^2 - t_3^2}{t_3^2 - t_1^2}}$$

$$(2-3) : Cd = x \sqrt{\frac{9t_2^2 - 4t_3^2}{t_3^2 - t_2^2}}$$

**Gambar 10.** Pengujian Kedalaman Retak dengan Ultrasonic

Setelah pengambilan sampel dan pengujian di lapangan selanjutnya sampel dilakukan analisa berdasarkan hasil pengujian di laboratorium.

#### a. Pengujian kuat tekan hasil core drill beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada **benda uji silinder beton dari Core Drill** yang diambil secara langsung pada elemen struktur beton bertulang gedung Bank Papua Cabang Manokwari sebagaimana yang dijelaskan pada Tabel 4.2 di atas. Hasil pengujian kuat tekan tersebut memberikan data bahwa benda uji silinder beton C- 7 mempunyai nilai kuat tekan terendah sebesar  $f'_{c-min} = 14,47 \text{ MPa}$ , sedangkan benda uji silinder beton C - 5 mempunyai nilai kuat tekan

tertinggi sebesar  $f'_{c-maks} = 34,64 \text{ MPa}$ , dan nilai kuat tekan rata-rata benda uji silinder beton baik dari elemen struktur pelat dan balok adalah sebesar  $f'_{cr} = 25,31 \text{ MPa}$ .

#### b. Pengujian kuat tarik baja tulangan

Pengujian kuat tarik baja tulangan ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik baja tulangan existing pada saat studi ini dilaksanakan. Hasil **pengujian kuat tarik 6 buah benda uji baja tulangan** dari struktur bangunan Bank Papua menunjukkan bahwa, benda uji baja tulangan BT - 3 mempunyai nilai kuat tarik leleh terendah sebesar  $f_{y-min} = 318,11 \text{ Mpa}$ , benda uji baja tulangan BT - 4 mempunyai nilai kuat tarik leleh tertinggi sebesar  $f_{y-mak} = 616,32 \text{ Mpa}$ , dan nilai kuat tarik leleh rata-rata baja tulangan adalah  $f_{y_r} = 423,83 \text{ Mpa}$ .

#### c. Pengujian Hammer

Pengujian Hammer yang dalam pelaksanaannya diambil secara random pada permukaan elemen struktur bangunan gedung Bank Papua Cabang Manokwari, dilakukan pada elemen struktur pelat, balok dan kolom. **Pengujian Hammer ini dilakukan pada 94 titik** termasuk 12 titik di sekitar posisi *Core Drill*.

Hubungan antara *Rebound hammer* terkoreksi dengan kuat tekannya ( $f_c'$ ) sesuai dengan hasil regresi linear antara kuat tekan benda uji silinder beton dari *Core Drill* dengan hasil Rebound Hammer, yang dinyatakan dengan persamaan :

$$y = 8,061x + 10,72$$

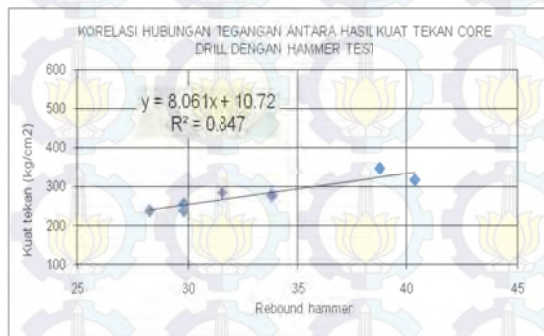
#### d. Pengujian ultrasonik

Pengujian Ultrasonic yang dalam pelaksanaannya diambil secara random pada permukaan setiap elemen struktur gedung Bank Papua Cabang Manokwari, dilakukan pada elemen struktur Pelat Lantai, Balok dan Kolom. **Pengujian Ultrasonic ini dilakukan pada 43 titik** termasuk 12 titik pengujian pada sekitar lokasi pengambilan benda uji silinder beton dari *Core Drill*.

**Tabel 2.** Korelasi Hubungan Tegangan antara Hasil *Core Drill* Beton dengan *Hammer Test* pada seluruh elemen struktur



No.	KODE	LOKASI	KUAT TEKAN CORE DRILL fc' (MPa)	REBOUND HAMMER TERKOREKSI
1	C - 1	Bordes Tangga 2-3/A"-B	283.20	31.56
2	C - 2	Balok 3/A-A"	255.33	29.79
3	C - 4	Balok 6'/A'-B	235.54	29.79
4	C - 5	Balok 7/A'-B	346.39	38.81
5	C - 8	Balok 6/B-C	316.22	40.39
6	C - 11	Balok 6'/B-B"	235.54	28.22
7	C - 12	Balok 6'-7/A'	276.05	33.82



**Gambar 11.** Grafik Regresi Korelasi Hubungan Tegangan antara Hasil Test Core Drill Beton dengan Hammer Test pada seluruh elemen yang ditinjau

Pengujian Ultrasonik yang dalam pelaksanaannya diambil secara random pada permukaan setiap elemen struktur gedung Bank Papua Cabang Manokwari, dilakukan pada elemen struktur Pelat Lantai, Balok dan Kolom. **Pengujian Ultrasonik ini dilakukan pada 43 titik** termasuk 12 titik pengujian pada sekitar lokasi pengambilan benda uji silinder beton dari Core Drill.

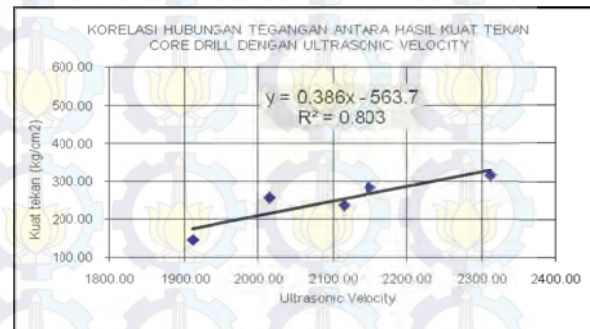
Hubungan antara *Ultrasonic Velocity* atau harga kecepatan rambat rata-rata ( $v$ ) inilah yang akhirnya harus dikorelasikan kedalam kekuatan tekan, dengan persamaan garis regresi linear hasil korelasi hubungan antara nilai kuat tekan benda uji silinder beton dari Core Drill ( $f'_c$ ) dengan pengujian ultrasonik yang memperoleh ultrasonic velocity ( $v$ ), yang menghasilkan persamaan garis regresi linear sebagai berikut :

$$y = 0,386x - 563,7$$

**Tabel 3.** Korelasi Hubungan Tegangan antara Hasil Core Drill Beton dengan *Ultrasonic Velocity* pada seluruh elemen struktur

N	KODE	LOKASI	KUAT	ULTRASONIC
---	------	--------	------	------------

O.			TEKAN CORE DRILL fc' (Kg/Cm <sup>2</sup> )	VELOCITY ( m / s )
1	C - 1	Bordes Tangga 2-3/A"-B	283.20	2150.00
2	C - 2	Balok 3/A-A"	255.33	2015.00
4	C - 4	Balok 6'/A'-B	235.54	2115.00
7	C - 7	Balok 2-3/A	144.65	1910.83
8	C - 8	Balok 6/B-C	316.22	2311.67



**Gambar 12.** Grafik Regresi Korelasi Hubungan Tegangan antara Hasil Test Core Drill Beton dengan Ultrasonic Test

#### e. Evaluasi mutu beton

##### 1) Berdasarkan core drill

Dari data perencanaan struktur beton bertulang bangunan Bank Papua Cabang Manokwari ditentukan bahwa mutu beton yang dipakai adalah  $f'_c = 18,5 \text{ MPa (K225)}$ . Mengingat data kuat tekan beton dari benda uji pada waktu pelaksanaan pekerjaan pembangunan gedung tidak ada, maka sesuai dengan ketentuan **ACI 5.6.4.4**. Mutu beton dari hasil pengujian kuat tekan masing-masing benda uji silinder beton yang ada harus memenuhi:

- Rata-rata dari hasil pengujian benda uji harus mempunyai kuat tekan  $\geq 0,85 f'_c$ .
- Tidak satupun dari hasil pengujian benda uji mempunyai kuat tekan  $< 0,75 f'_c$ .

##### Kontrol :

$$f'_{c_r} = 262,95 \text{ Kg/cm}^2 = 26,295 \text{ MPa} > 0,85 f'_c = 15,725 \text{ MPa} \rightarrow$$

**memenuhi syarat**

$$f'_{c_{\min}} = 180,12 \text{ Kg/cm}^2 = 18,01 \text{ MPa} > 0,75 f'_c = 13,875 \text{ MPa} \rightarrow$$

**memenuhi syarat**

**Tabel 4 :** Kekuatan Beton berdasarkan Core Drill



No.	Uraian	Satuan	1	2	3	4	5	6	Ket.
1	Kode		C - 1	C - 2	C - 3	C - 4	C - 5	C - 6	
2	Silinder Ø15-30 cm ( $f_c' = f_{c'}/1.04$ )	kg/cm <sup>2</sup>	283.2	255.33	270.07	235.54	346.39	245.93	
			7	8	9	10	11		
			C - 8	C - 9	C - 10	C - 11	C - 12		
			316.22	180.12	248.05	235.54	276.05		
3	Tegangan Tekan Rata-rata, $f_{c'}$	kg/cm <sup>2</sup>			262.95				
4	Tegangan Tekan Minimum $f_{c'}$	kg/cm <sup>2</sup>			180.12				
4.1	Tegangan Tekan Karakteristik ( $f_c'$ )	kg/cm <sup>2</sup>			185.00				
4.2	$f_{c'e} = 0.85 f_c'$	kg/cm <sup>2</sup>			157.25				
4.3	$f_{c'1} = 0.75 f_c'$	kg/cm <sup>2</sup>			138.75				
4.4	Kontrol : $4 > 6.2$	kg/cm <sup>2</sup>		262.95	>	157.25			OK
4.5	Kontrol : $5 > 6.3$	kg/cm <sup>2</sup>		235.54	>	138.75			OK

## 2) Berdasarkan pengujian hammer

**Tabel 5 :** Kekuatan beton berdasarkan hammer test

LANTAI	ELEMEN	REBOUND TERKOREKSI SUDUT	TEGANGAN ( Kg/Cm <sup>2</sup> )
I	Kolom	36.57	305.49
	Balok	34.45	288.40
II	Kolom	35.03	293.08
	Balok	33.17	278.13
III	Kolom	35.30	295.31
	Balok	32.63	273.78
Atap	Kolom	38.59	321.80
	Balok	36.57	305.54
		$f_{c'}$ =	295.19
		$f_{c'min}$ =	273.78

### Kontrol :

$$f_{c'_{r}} = 295,19 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 29,52 \text{ MPa} > 0,85 f_{c'} = 15,725 \text{ MPa} \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

$$f_{c'_{min}} = 273,78 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 27,38 \text{ MPa} > 0,75 f_{c'} = 13,875 \text{ MPa} \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

## 3) Berdasarkan pengujian ultrasonik

**Tabel 6 :** Kekuatan beton berdasarkan hammer test

LANTAI	ELEMEN	REBOUND TERKOREKSI SUDUT	TEGANGAN ( Kg/Cm <sup>2</sup> )
I	Kolom	2,206.54	288.02
	Balok	2,116.67	253.33
II	Kolom	2,146.19	264.73
	Balok	2,000.24	208.39
III	Kolom	1,910.83	173.88
	Balok	2,408.17	365.85
Atap	Balok	2,319.58	328.08
		$f_{c'_{r}} =$	268.90
		$f_{c'_{min}} =$	173.88

### Kontrol :

$$f_{c'_{r}} = 268,90 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 26,89 \text{ MPa} > 0,85 f_{c'} = 15,725 \text{ MPa} \rightarrow \text{memenuhi syarat}$$

$$f_{c'_{min}} = 173,58 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 17,36 \text{ MPa} > 0,75 f_{c'} = 13,875 \text{ MPa}$$

→ memenuhi syarat

Pengujian non destructive berikutnya adalah pengamatan tebal selimut beton dan rebar. Hasil pengukuran ketebalan selimut beton dengan alat  $\pi$  rebar detector protovale dari elemen struktur gedung Bank Papua Cabang Manokwari diperoleh data rata – rata selimut beton = **6,17 cm**.

Sesuai peraturan beton di Indonesia (SNI 03 – 2847 – 2002) disyaratkan tebal selimut beton pada bangunan gedung dekat pantai adalah sebesar **40 mm**. Sehingga dari hasil pengukuran selimut beton semua elemen struktur memiliki selimut beton sesuai dengan yang disyaratkan.

Pengujian non destructive berikutnya adalah pengukuran tebal selimut beton. Hasil pengukuran ketebalan selimut beton dengan alat  $\pi$  rebar detector protovale dari elemen struktur gedung Bank Papua Cabang Manokwari diperoleh data rata – rata selimut beton = **6,17 cm**. Sesuai peraturan beton di Indonesia (SNI 03 – 2847–2002) disyaratkan tebal selimut beton pada bangunan gedung dekat pantai adalah sebesar **40 mm**. Sehingga dari hasil pengukuran selimut beton semua elemen struktur memiliki selimut beton sesuai dengan yang disyaratkan.

Pengujian non destructive lainnya adalah pengamatan visual tingkat kerusakan struktur. Kerusakan struktur beton bertulang diawali dengan retak – retak rambut. Bila diperhatikan pada pola retak yang terjadi, retak – retak ini muncul akibat adanya pembebanan yang berlebihan atau disebut dengan retak struktural. Perbaikan pada retak – retak yang semacam ini dilakukan dengan cara merepair retak-retak tadi dengan cara grouting. Selain itu juga terdapat retak yang diakibatkan oleh adanya sifat susut pada beton. Jenis kerusakan yang kedua ini terjadinya hanya pada permukaan beton saja, cara repairing biasanya cukup dengan cara melakukan coating pada permukaan betonya.

Kejadian kerusakan selanjutnya akan merambah ke bagian dalam dari beton yaitu baja tulangan. Baja tulangan akan terjadi korosi dan karena sifatnya, baja akan mengembang dan memberikan desakan pada selimut beton yang melindunginya, maka terjadilah spalling dan proses korosi pada baja tulangan terus berlanjut. Hasil pengamatan tingkat kerusakan disajikan pada table 7 berikut,



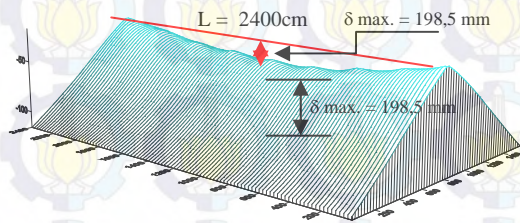
**Tabel 7** : Tingkat Kerusakan Yang Telah Terjadi Pada Struktur Bangunan Bank Papua

No	Elemen Struktur Bangunan	Jumlah Elemen Struktur	Tingkat Kerusakan Struktur (TKS)			
			G	R	S	B
1	Balok Kuda-kuda	10	-	-	4	6
2	Balok Nok	4	-	-	4	-
3	Balok Atap	3	-	3	-	-
4	Balok Tingkat	3	-	3	-	-

Keterangan:

G : Good (Baik)  
R : Ringan  
S : Sedang  
B : Berat

Pengujian non destruktif lainnya adalah pengamatan perubahan bentuk struktur untuk menunjukkan kondisi struktur akibat terkena beban gempa. Hasil pengamatan ditunjukkan pada gambar berikut,

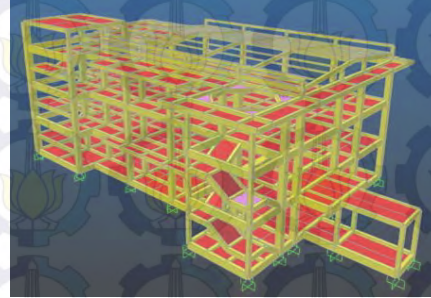


**Gambar 13.** Perubahan perbedaan tinggi pada As 2 s/d 6 struktur kuda-kuda

Hasil pengamatan terhadap lendutan pada struktur atap menunjukkan lendutan yang terjadi pada struktur atap sebagaimana ditunjukkan pada gambar 11 sebesar 198,5 mm sudah melampaui persyaratan lendutan ijin maksimum yang diijinkan SNI 03-2847-2002 yakni sebesar  $L/480 = 6000/480 = 12,5$  mm.

### 2.3. Analisa struktur

Analisa struktur dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan struktur gedung Bank Papua cabang Manokwari berdasarkan mutu material berdasarkan analisa dan hasil pengujian di laboratorium. Adapun mutu beton ( $f_c'$ ) = 18,5 Mpa dan mutu baja ( $f_y$ ) = 400 Mpa. Berdasarkan mutu material tersebut selanjutnya dilakukan evaluasi kekuatan struktur untuk mendeteksi elemen-elemen struktur yang terindikasi tidak mampu memikul beban yang ada.

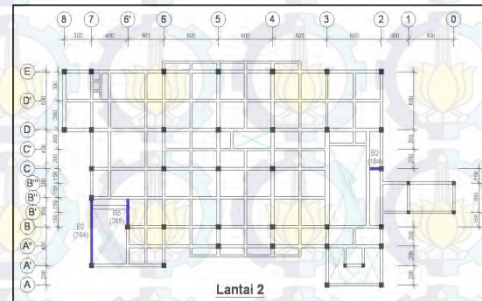


**Gambar 14.** Pemodelan struktur Gedung Bank Papua cabang Manokwari

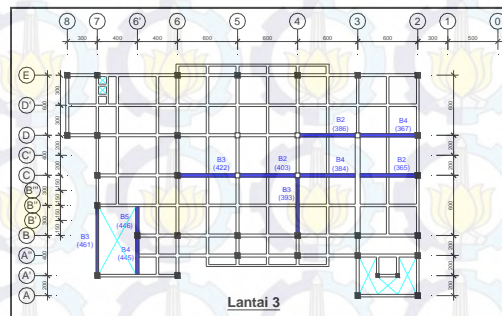
Struktur diatas dibebani jenis kombinasi pembebanan sebagai berikut,

1. Komb1: 1,2 D + 1,6 L
2. Komb 2: 0,9 D + 1,2 L + 1,0 W
3. Komb 3: 1,2 D + 1,0 L + 1,0 Ex + 0,3 Ey
4. Komb 4: 1,2 D + 1,0 L + 0,3 Ex + 1,0 Ey

Dari hasil analisa struktur diperoleh elemen-elemen struktur yang perlu dilakukan perkuatan untuk mengembalikan performa elemen-elemen struktur dimaksud agar supaya mampu menerima beban yang ada.

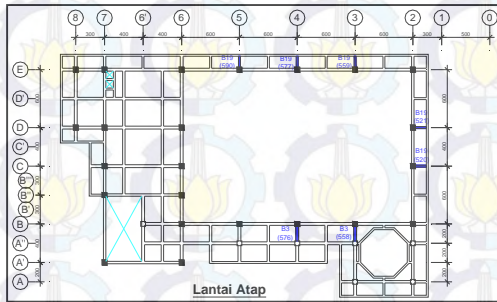


**Gambar 15.** Perkuatan yang perlu dilakukan pada elemen struktur balok lantai 2 Gedung Bank Papua cabang Manokwari

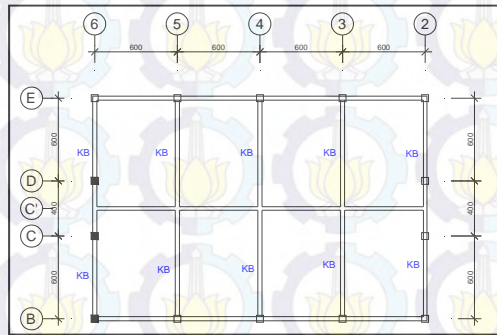


**Gambar 16.** Perkuatan yang perlu dilakukan pada elemen struktur balok lantai 3 Gedung Bank Papua cabang Manokwari





**Gambar 17.** Perkuatan yang perlu dilakukan pada elemen struktur balok lantai atap Gedung Bank Papua cabang Manokwari



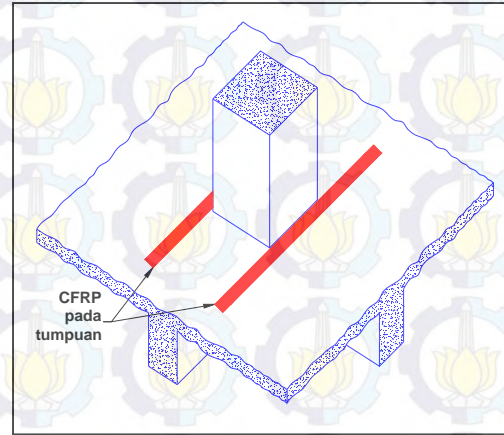
**Gambar 18.** Balok kuda-kuda atap Gedung Bank Papua cabang Manokwari yang mengalami kegagalan akibat gempa.

### 3. Perkuatan Balok

Menurut hasil analisa diketahui bahwa terdapat dua buah balok jenis B3 yang mengalami kegagalan momen di lapangan yaitu elemen 393 (As 4 – BC) dan 461 (As 7 – A”B”). Maka perlu dilakukan suatu perkuatan di mana metode perkuatan yang praktis dan mudah dilakukan adalah dengan menggunakan **CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) tipe laminate tape**. Jenis perkuatan ini mudah sekali dipasang pada lokasi perbaikan sehingga waktu yang dibutuhkan tidak terlalu lama dan tidak terlalu banyak merusak elemen struktur yang akan diperbaiki. Bahan ini mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan baja tulangan, ringan, praktis dan mudah dikerjakan (dipotong dan dipasang) serta dapat menyatu dengan elemen struktur yang diperkuat dalam menerima beban yang bekerja.



**Gambar 19.** Pemasangan CFRP pada Balok di Lapangan



**Gambar 20.** Pemasangan CFRP pada Balok di Tumpuan

Material CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) tipe *laminate tape* sendiri memiliki kemampuan regangan pada kondisi *serviceability limit state* untuk elemen struktur balok dibatasi sampai maksimum 0.0025, dengan tujuan agar tidak terjadi keretakan pada beton. Bahan CFRP *Laminate Tape* yang ada dipasaran untuk bahan metode perkuatan ini harus mempunyai sifat-sifat mekanik sebagai berikut.

- Type = CFRP *Laminate Tape*
- Lebar = 100 mm dan Tebal = 1.2 mm
- Flu = 2800 Mpa
- EL = 165.000 Mpa
- dL = 1025 mm
- $\epsilon_{LU} = 0.0025$  (balok)

Jadi Mutu Bahan CFRP yang dipakai perhitungan adalah :

- Kuat Tarik Ijin CFRP *Laminate Tape*,  
 $\sigma_{ct} = E_L \cdot \epsilon_L$   
 $= 1,650,000 \times 0.0025 = 4,125.0 \text{ kg/cm}^2$
- Kuat Tarik Putus CFRP *Laminate Tape*,  
 $f_{ct} = E_L \cdot \epsilon_L$   
 $= 1,650,000 \times 0.0050 = 8,250.0 \text{ kg/cm}^2$

Sehingga perhitungan kebutuhan CFRP *Laminate Tape* yang dibutuhkan untuk balok B3 (300x600) adalah sebagai berikut :

- Sisa momen lapangan maksimum yang masih harus dipikul :  
 $M_u = 2,974.2 \text{ kg-m} = 297,420.0 \text{ kg-cm}$
- Luas penampang CFRP,  $A_L = 120 \text{ mm}^2 = 1.20 \text{ cm}^2$
- Tinggi efektif (d) CFRP = 600 mm = 60 cm
- Jumlah lajur/strip yang dibutuhkan :



$$n = \frac{Mu}{A_L \cdot f_{ct} \cdot d} = \frac{297.420,0}{1,2 \times 8250 \times 60} = 1 \text{ bh strip}$$

- Panjang strip,  $L = 300 \text{ cm}$ .

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pembahasan tersebut diatas dapat diambil kesimpulan terhadap evaluasi struktur gedung Bank Papua cabang Manokwari sebagai berikut,

1. Struktur gedung Bank Papua cabang Manokwari masih layak untuk dimanfaatkan karena dari hasil pengamatan tingkat pelaksanaan struktur beton bertulang pada Gedung ini tergolong baik. Adapun mutu bahan terpasang sanggup memenuhi kriteria desain perencanaan yaitu mutu beton  $f_c' = 18,5 \text{ MPa}$  (K-225) dan mutu baja  $f_y = 400 \text{ MPa}$ .
2. Ditinjau secara keseluruhan, kerusakan yang terjadi pada elemen-elemen struktur termasuk minor, hanya elemen struktur atap yang agak parah. Sehingga dibutuhkan perbaikan minor pada elemen struktur balok, akan tetapi khusus untuk konstruksi struktur atap harus diganti dari beton bertulang menjadi rangka baja.

#### 5. Saran

Untuk mengembalikan serta menjaga fungsi gedung sebagaimana mestinya, maka pihak Bank Papua dapat melakukan beberapa hal yang disusun dalam beberapa saran berikut ini sekaligus sebagai prioritas perbaikan pada gedung Bank Papua cabang Manokwari sebagai berikut :

1. Sebagai prioritas perbaikan sehingga perlu segera dilakukan adalah penggantian balok kuda-kuda atap dari beton bertulang menjadi balok kuda-kuda baja WF 400x200x8x13 sebagaimana dijelaskan pada Bab VI dan lampiran untuk detail perkuatannya.
2. Melepas pembungkus kolom dengan memberikan pembungkus kolom baru dengan memberikan shear connector antara beton kolom dengan pembungkus kolom atau bisa membungkus dengan pembungkus kolom dengan material yang ringan.
3. Segera melakukan perbaikan terhadap retak-retak yang terjadi. Untuk retak-retak pada dinding dapat dilakukan perbaikan atau penggantian dinding secara parsial dan setempat. Sedangkan untuk perbaikan retak-retak pada balok dan kolom dapat menggunakan sistem injeksi. Perkuatan berikutnya yang perlu dilakukan adalah perkuatan terhadap beberapa balok yang mengalami kegagalan di lapangan maupun tumpuan sebagaimana terlampir. Adapun

perkuatan tersebut dilakukan dengan menggunakan metode CFRP.

#### 6. Daftar Pustaka

1. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, "Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Bertulang untuk Bangunan Gedung", SNI 03-2847-2002.
2. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, "Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung", SNI-1726-2002.
3. Annual Book of ASTM Standard, "ASTM C42-90".
4. Annual Book of ASTM Standard, "ASTM C805-85".
5. Annual Book of ASTM Standard, "ASTM C597-83(91)".